

PEMANFAATAN GLISEROL PRODUK SAMPING BIODIESEL MENJADI TRIACETIN MELALUI PROSES ESTERIFIKASI MENGGUNAKAN KATALIS FLY ASH

Nur Khairiati ¹⁾, Zuchra Helwani ²⁾, Khairat ²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾Dosen Jurusan Teknik Kimia
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
nkhairiati@yahoo.com

ABSTRACT

Glycerol is a by-product of biodiesel that produced 10% of the total volume of biodiesel products. Glycerol can be processed into economic product such as triacetin. Triacetin made by esterification process of glycerol and acetic acid with the aid of fly ash as catalyst. This study aims to determine the characteristics of the catalyst fly ash and determine the influence of process variables (concentration of catalyst, reactant mole ratios and esterification time) on glycerol conversion. Catalyst concentration used were 1%, 2% and 3%. The mole ratio of glycerol: Acetic acid were 1:5, 1:7 and 1:9. Esterification time used were 1, 2 and 3 hours. Characteristic of fly ash catalyst such as surface area, the acidity and degree of crystallinity increased after activation. The highest conversion obtained was 53,33% at the operating conditions of catalyst concentration 3%, the mole ratio of reactant 1:9 and esterification time 3 hours. The increasing of catalyst concentration, mole ratio of reactant and esterification time increased the conversion of glycerol.

Keywords: *biodiesel, esterification, fly ash, glycerol, triacetin.*

1. Pendahuluan

Biodiesel umumnya disintesis melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol dan bantuan katalis berbasis alkali yang menghasilkan produk samping berupa gliserol dengan jumlah lebih kurang 10% dari total volume produk biodiesel (Khayoon dan Hameed, 2011). Jika produksi biodiesel meningkat maka produk samping biodiesel yaitu gliserol juga meningkat. Untuk mengatasi penumpukan gliserol, perlu dilakukan pemanfaatan gliserol dengan cara mengkonversinya menjadi produk yang lebih bernilai tinggi dan lebih bermanfaat.

Salah satu produk esterifikasi gliserol adalah *TriAcetyl Glycerol* (TAG) atau *triacetin* (Prasetyo dkk, 2012). *Triacetin* dibuat dari proses esterifikasi antara gliserol dan asam asetat dengan bantuan katalis. Kegunaan *triacetin* sangat banyak baik untuk keperluan bahan makanan maupun non makanan. Untuk bahan

makanan, *triacetin* dapat digunakan bahan aroma pada permen (gula-gula), minuman olahan susu, minuman berperisa dan permen karet. Sedangkan untuk bahan non makanan *triacetin* dapat digunakan sebagai pelarut pada parfum, tinta cetak, plastisizer untuk resin selulosa, polimer dan ko-polimer, bahkan dapat digunakan sebagai zat aditif bahan bakar untuk mengurangi *knocking* pada mesin mobil (Nuryoto dkk, 2010). *Triacetin* merupakan produk yang sangat potensial untuk dikembangkan dilihat dari kegunaannya yang sangat banyak.

Penelitian mengenai pembuatan *triacetin* ini telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Widayat dkk (2013) telah melakukan esterifikasi gliserol dan asam asetat dengan katalis asam sulfat pada kecepatan pengadukan 100 rpm, berat katalis 5% berat gliserol dengan variasi temperatur 80-120°C dan perbandingan pereaksi gliserol terhadap asam asetat 1:3

hingga 1:7. Konversi tertinggi diperoleh pada temperatur 120 °C, perbandingan pereaksi gliserol asam asetat 1:7 dan waktu reaksi 1 jam dengan konversi sebesar 67,63%. Nuryoto dkk (2010) telah melakukan esterifikasi pada suhu 343K dan kecepatan pengadukan 1000 rpm dengan waktu reaksi 90 menit, dengan variasi perbandingan pereaksi gliserol terhadap asam asetat 1:3 hingga 1:7, konsentrasi katalis 1-9% berat terhadap asam asetat, dan ukuran diameter katalis lolos pada 16 mesh dan tertahan di 25 mesh. Konversi tertinggi diperoleh pada perbandingan pereaksi gliserol asam asetat 1:7 dan konsentrasi katalisator 3% berat asam asetat, yaitu sebesar 42,3%. Sari dkk (2014) telah melakukan proses pembuatan *triacetin* berbahan baku gliserol secara esterifikasi menggunakan zeolit alam pada temperatur 100°C dan dengan memvariasikan konsentrasi katalis 1%, 3% dan 5% dan perbandingan pereaksi gliserol asam asetat 1:3, 1:5 dan 1:7. Konversi gliserol tertinggi diperoleh pada perbandingan gliserol asam asetat 1:7, konsentrasi katalis zeolit alam 3% dan waktu reaksi 4 jam yaitu sebesar 90,02%

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, konversi yang dihasilkan oleh Widayat dkk (2013) lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Nuryoto dkk (2010) namun penggunaan katalis berupa asam sulfat mengalami proses pemisahan yang sulit dari produk *triacetin*. Penggunaan katalis padat lebih baik digunakan untuk proses pembuatan *triacetin* karena proses pemisahannya tidak rumit seperti yang digunakan oleh Nuryoto dkk (2010) dan Sari dkk (2014).

Pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan gliserol sebagai produk samping biodiesel menjadi *triacetin* melalui proses esterifikasi gliserol dan asam asetat dengan perbandingan mol reaksi 1:5, 1:7 dan 1:9 menggunakan katalis *fly ash* yang diaktivasi dengan asam sulfat dengan berat 1%, 2% dan 3% wt asam asetat dan variasai waktu esterifikasi 1, 2 dn 3 jam. Menurut

Kupaei dkk (2013) *fly ash* sawit mempunyai kadar silika 57,6% berat. *Fly ash* dapat dimanfaatkan sebagai katalis ataupun *catalyst support* karena memiliki kadar silika tinggi, yang membantu proses katalisis dari berbagai reaksi dan memberikan *support* untuk spesies katalis yang berbeda pada permukaan (Khatri dan Rani, 2008). Pemanfaatan *fly ash* sawit ini dilakukan berdasarkan pertimbangan ketersediaan terutama di Propinsi Riau.

Penelitian ini bertujuan untuk Menentukan karakteristik katalis *fly ash*. Menentukan pengaruh variabel proses (konsentrasi katalis, rasio mol pereaksi, dan waktu esterifikasi) terhadap konversi gliserol.

2. Metodologi Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah *crude* gliserol dari pabrik Biodiesel PT. Wilmar Group Dumai, asam asetat pa merck , dan *fly ash* dari PTPN V sei Galuh Riau sebagai katalis, asam sulfat, BaCl₂, alkohol, KOH, HCl, Asam Oksalat, karbon aktif, amoniak dan aquades.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor pemanas berupa labu leher tiga volume 500 ml, dan dilengkapi dengan *heating mantle*, kondenser, *magnetic stirred*, termometer, gelas ukur, gelas piala, erlenmeyer, buret, *rotary evaporator*, pipet tetes, spatula, oven, *furnace*, desikator, cawan penguap, pengaduk dan statif.

2.1 Tahap Penelitian

2.1.1 Aktivasi Katalis *Fly Ash*

Proses Aktivasi katalis *fly ash* ini mengikuti prosedur percobaan yang dilakukan oleh Khatri dan Rani (2008) diawali dengan proses pencampuran *fly ash* dengan H₂SO₄ dengan rasio 1:6 selama 1 hari padu suhu 110°C sambil diaduk. Setelah proses tersebut campuran *fly ash* dengan H₂SO₄ dicuci dengan aquadest untuk menghilangkan pengotor - pengotor. Selanjutnya campuran yang telah diproses tersebut dikeringkan di dalam oven dengan suhu 110 °C selama 1 hari. Selanjutnya

katalis dikalsinasi di dalam *furnace* pada suhu 600°C selama 4 jam. Katalis yang telah di kalsinasi akan dikarakterisasi melalui uji keasaman, uji BET dan XRD.

2.1.2 Pemurnian Gliserol

Pemurnian gliserol dapat dilakukan dengan menggunakan metode evaporasi (Prakoso, 2007). Proses pemurnian ini dilakukan untuk menghilangkan air, metanol dan sisa asam dalam proses pembuatan biodiesel tersebut. Adapun pelarut yang digunakan adalah aquades. Sampel (*crude glycerol*) ditambahkan aquades dengan perbandingan 2:3. Untuk menghilangkan warna pada *crude* gliserol digunakan karbon aktif 5% dari total volume sampel yang sudah terlebih dahulu dicuci. Campuran sampel dan karbon aktif diaduk selama 30 menit, lalu dibiarkan selama 24 jam. Setelah 24 jam sampel disaring menggunakan kertas saring. Sampel dimasukkan kedalam *rotary evaporator*, dimana sebelumnya sudah di set kondisinya pada tekanan vakum suhu 60°C. Untuk meningkatkan kemurnian gliserol, produk bawah *rotary evaporator* didistilasi selama 4 jam.

2.1.3 Proses Esterifikasi

Gliserol dengan volume tertentu dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian dipanaskan sampai mendekati suhu 100°C. Asam asetat dengan volume yang telah ditentukan berdasarkan perbandingan gliserol dan asam asetat dipanaskan sampai suhu tertentu dalam gelas piala, kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga, dan reaktan dipanaskan sampai suhu 100°C, sambil pengaduk dijalankan. Selanjutnya katalisator dimasukkan dan waktu dicatat sebagai waktu awal reaksi. Reaksi dihentikan setelah waktu reaksi selesai. Triacetin hasil proses esterifikasi dipisahkan dari katalisator dengan menyaringnya menggunakan kertas saring. Triacetin yang diperoleh dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR. Prosedur diatas dilakukan kembali dengan

konsentrasi katalis, rasio mol pereaksi dan waktu esterifikasi sesuai dengan variabel.

2.2 Analisa Produk

Analisis bilangan asam dilakukan dengan cara titrasi menggunakan KOH (menurut metode FBI A01-03), sementara bilangan penyabunan dianalisis menggunakan asam klorida (menurut metode FBI A03-03). Perhitungan konversi pereaksi berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Konversi Asam Asetat} = \frac{\text{bilangan penyabunan} - \text{bilangan asam}}{\text{bilangan penyabunan}} \times 100\%$$

$$\text{Konversi Gliserol} = \frac{\text{Mol gliserol bereaksi}}{\text{mol gliserol umpan}} \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Aktivasi dan Karakterisasi Katalis Fly Ash

Hasil aktivasi yang telah dilakukan terhadap *fly ash* memberikan hasil yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Keasaman *Fly Ash* Sebelum dan Setelah Aktivasi

Jenis <i>Fly Ash</i>	Keasamaan (mol/gram)
FA1	0,052
FA2	0,055

Keterangan :

FA1 = *Fly Ash* sebelum aktivasi

FA2 = *Fly Ash* sesudah aktivasi

Keasaman katalis didapatkan dengan cara analisis gravimetri melalui adsorpsi desorpsi amoniak (Pandiangan, 2008). Keasaman *fly ash* sebelum aktivasi sebesar 0,052 mol/gram. Setelah diaktivasi keasaman katalis meningkat sebesar 0,003 mol/gram atau 3 mmol/gram menjadi 0,055 mol/gram. Proses aktivasi katalis ini menyebabkan kenaikan keasaman *fly ash*. Kenaikan keasaman ini disebabkan karena adanya pertukaran proton dengan kation yang terdapat pada *fly ash* selama proses perendaman.

Analisa keasaman katalis dilakukan untuk mengetahui jumlah situs asam. Jumlah situs asam umumnya berbanding lurus dengan situs aktif. Semakin besar keasaman katalis maka jumlah situs asam

semakin banyak dan semakin banyak pula situs aktif yang terdapat pada katalis. Katalis dengan keasaman yang tinggi menggambarkan bahwa katalis tersebut memiliki situs Bronsted yang banyak, sehingga katalis tersebut menjadi lebih aktif dalam pemutusan ikatan atau di dalam reaksinya (Handoko dkk, 2013).

3.2 Pemurnian *Crude Glycerol*

Crude glycerol yang didapatkan dari PT.Wilmar Group Dumai masih mengandung sisa bahan hasil transesterifikasi dari proses pembuatan biodiesel. Komposisi dalam *crude glycerol* yaitu metanol, katalis basa, air, serta

komposisi lainnya. Sehingga diperlukan proses pemurnian *crude glycerol* sebelum digunakan sebagai bahan baku pembuatan Triacetin. Gliserol yang telah dimurnikan dan *crude* gliserol dilakukan analisa meliputi densitas, viskositas, kadar air. Komposisi *crude* gliserol yang diperoleh dari PT Wilmar Group dan sifat fisika kimia gliserol sesudah proses pemurnian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Sifat Fisik *Crude Glycerol* dengan Gliserol Setelah dimurnikan

Sifat Fisik	<i>Crude</i> Gliserol	Gliserol Setelah Pemurnian	Gliserol p.a. Merk
Densitas (gr/ml)	1,188	1,241	1,262
Viskositas (cP)	104,42	325,35	1499
Kadar Gliserol (%)	85	98	99,5
Kadar air (%)	10	2	0,5
Kadar Metanol (%)	1	-	-
Kadar Impuritis (%)	4	-	-
Warna	Kuning kemerahan	Bening	Bening

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa gliserol yang telah dimurnikan memiliki densitas yang lebih besar dibandingkan dengan *crude* gliserol. Densitas gliserol setelah pemurnian dan *crude* gliserol adalah 1,241 dan 1,188 gram/ml. Jika dibandingkan dengan gliserol murni, densitas gliserol yang telah dimurnikan hampir sama. *Crude* gliserol masih mengandung air, metanol dan senyawa organik lainnya yang mengakibatkan densitas rata-rata *crude* gliserol menjadi rendah.

3.3 Konversi Gliserol dan Analisa *Triacetin* Menggunakan FTIR

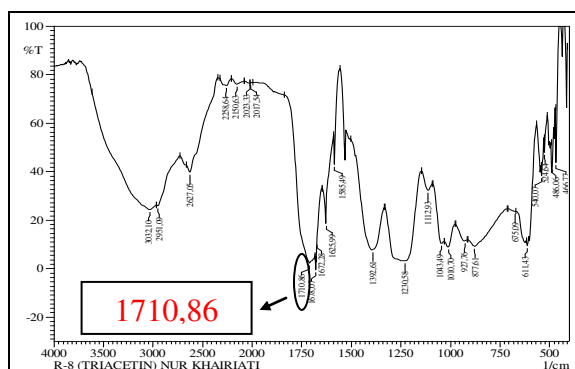
3.3.1 Konversi Gliserol

Konversi gliserol yang diperoleh melalui proses esterifikasi dengan menggunakan katalis *fly ash* beragam mulai dari 15,13% sampai 53,33%. Konversi gliserol terendah diperoleh pada kondisi proses konsentrasi katalis 2%, rasio mol

gliserol : asam asetat 1:7 dan waktu esterifikasi 0,3 jam yaitu 15,13%. Sedangkan konversi gliserol tertinggi diperoleh pada kondisi proses konsentrasi katalis 3%, rasio mol gliserol : asam asetat 1:9 dan waktu esterifikasi 3 jam yaitu 53,33%.

3.3.2 Analisa *Triacetin* Menggunakan FTIR

Analisa yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya kandungan triacetin pada hasil reaksi esterifikasi gliserol adalah analisa FTIR. Triacetin memiliki gugus fungsi ester dengan bilangan gelombang 1690 – 1760 cm^{-1} (Skoog dkk, 1998). Hasil analisis FTIR ditampilkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Hasil Analisa FTIR Sampel

Gambar 3.1 menunjukkan hasil analisa FTIR sampel. Gugus ester terdapat pada bilangan gelombang $1710,86 \text{ cm}^{-1}$. Bilangan gelombang ini masuk kedalam gugus fungsi ester yaitu $1690 - 1760 \text{ cm}^{-1}$.

3.3 Desain dan Analisis Model Konversi Gliserol

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh variasi kondisi proses terhadap konversi gliserol. Data hasil percobaan dianalisis dengan rancangan percobaan (*design experiment*) metode statistik *Central Composite Design* (CCD) dan diolah menggunakan program *Design Expert 7.0*. Program akan mengeluarkan model dan grafik yang menunjukkan pengaruh variasi kondisi proses terhadap konversi gliserol. Pengujian model dilakukan dengan *coded variable* yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien – koefisien model yaitu konsentrasi katalis, rasio mol pereaksi dan waktu esterifikasi terhadap respon berupa konversi gliserol.

Metode *Response Surface Methodology* (RSM) merupakan metode yang digunakan untuk melakukan proses optimasi. Model yang sering digunakan untuk RSM adalah model polynomial orde 1 dan orde 2. Pada model orde I, perlu dilakukan uji kecocokan model untuk melihat tepat atau tidaknya dugaan model yang dilakukan. Apabila model tidak linier atau terdapat pola lengkung (*curvature*), maka model orde 1 tidak cocok digunakan dan digunakan model orde 2 (Montgomery, 1991).

Data konversi gliserol selanjutnya diolah dengan menggunakan program *Design Expert 7.0* sehingga diperoleh persamaan orde dua seperti ditampilkan persamaan 3.1.

$$Y = 23,92 + 1,44 X_1 + 6,90 X_2 + 8,52 X_3 + 1,90 X_1^2 + 4,43 X_2^2 + 3,07 X_3^2 + 0,15 X_1 X_2 - 0,32 X_1 X_3 + 2,92 X_2 X_3 \dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

- X_1 = konsentrasi katalis, (%)
- X_2 = rasio mol pereaksi, (mol/mol)
- X_3 = waktu esterifikasi, (jam)
- Y = konversi gliserol, (%)

3.4 Pengaruh Kondisi Proses dan Interaksinya terhadap Konversi Gliserol

3.4.1 Pengaruh Kondisi Proses terhadap Konversi Gliserol

Terdapat tiga kondisi proses yang di pelajari yaitu konsentrasi katalis (X_1), rasio mol pereaksi (X_2) dan waktu esterifikasi (X_3). Berdasarkan hasil pengujian *P-value*, semua kondisi proses memberikan pengaruh yang signifikan terhadap konversi gliserol. Namun kondisi proses yang paling memberikan pengaruh terhadap konversi gliserol adalah waktu esterifikasi (X_3).

Kondisi yang memberikan pengaruh signifikan adalah waktu esterifikasi. Kesetimbangan pada reaksi esterifikasi gliserol tercapai sekitar 60 menit (Mufrodi, 2010). Konversi gliserol mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan meningkatnya waktu esterifikasi. Waktu reaksi berbanding lurus dengan konversi yaitu semakin lama reaksi berlangsung maka kemungkinan kontak antar zat akan semakin banyak sehingga konversi semakin tinggi (Helwani dkk., 2009).

Rasio mol gliserol : asam asetat berpengaruh terhadap konversi gliserol. Konversi gliserol meningkat seiring dengan meningkatnya rasio gliserol: asam asetat yang digunakan. Pada stoikiometri reaksi esterifikasi, satu mol gliserol membutuhkan tiga mol asam asetat untuk menghasilkan triacetin. Penambahan mol asam asetat

bertujuan agar reaksi bergerak ke arah kanan atau produk karena reaksi yang terjadi merupakan reaksi kesetimbangan.

Konsentrasi katalis memberikan pengaruh terhadap konversi gliserol yang didapatkan. Semakin tinggi konsentrasi katalis maka konversi yang didapatkan semakin meningkat. Konversi gliserol meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi katalis, namun peningkatan konsentrasi katalis tidak terlalu berpengaruh terhadap konversi gliserol.

3.4.2 Pengaruh Interaksi Kondisi Proses terhadap Konversi Gliserol

Berdasarkan pengujian *P-value* interaksi kondisi proses yang memberikan pengaruh terhadap konversi gliserol adalah interaksi antara rasio mol pereaksi dan waktu esterifikasi.

Semakin tinggi rasio mol pereaksi yang ditambahkan namun tidak diikuti dengan semakin lamanya waktu esterifikasi maka konversi yang dihasilkan tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Begitu juga sebaliknya, semakin lama waktu esterifikasi yang digunakan namun rasio mol pereaksi yang ditambahkan sedikit maka konversi yang dihasilkan juga tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Namun semakin tinggi rasio mol pereaksi dan semakin lama waktu esterifikasi yang digunakan maka konversi yang dihasilkan mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini dikarenakan pada stoikiometri reaksi esterifikasi, satu mol gliserol membutuhkan tiga mol asam asetat untuk menghasilkan triacetin sehingga semakin besar rasio mol yang digunakan maka konversi yang dihasilkan semakin besar dan peningkatan waktu reaksi akan meningkatkan konversi gliserol dikarenakan semakin lama waktu bereaksi kesempatan pereaksi untuk saling bertumbukan semakin besar (Levenspiel, 1999).

4. Kesimpulan

Gliserol sebagai hasil samping pembuatan biodiesel dapat diolah menjadi

produk turunan berupa *triacetin* dengan menggunakan reaksi eseterifikasi antara gliserol dengan asam asetat. Keasaman katalis, Luas permukaan katalis mengalami kenaikan setelah aktivasi. Perolehan konversi gliserol tertinggi diperoleh sebesar 53,33% pada kondisi proses konsentrasi katalis 3%, rasio mol gliserol : asam asetat 1:9 dan waktu esterifikasi 3 jam. Konsentrasi katalis, rasio mol gliserol : asam asetat serta waktu esterifikasi memberikan pengaruh terhadap konversi gliserol yang dihasilkan, semakin besar konsentrasi katalis, rasio mol gliserol : asam asetat dan waktu esterifikasi maka konversi gliserol yang dihasilkan semakin besar. Namun dari ketiga variabel proses tersebut waktu esterifikasi paling memberikan pengaruh signifikan terhadap konversi gliserol.

Daftar Pustaka

- Handoko, D. S. P., Triyono, Narsito, Tutik. D. W., Bangun, M. 2013. *Konversi Katalitik Metil Oleat Secara Sekuensial Menjadi Senyawa Biogasoline*. Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi Vol 47 No. 3: 135-146.
- Helwani, Z., Othman, M. R., Aziz, N., Kim, J dan W. J. N. Fernando. 2009. *Solid Heterogeneous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol : A Review*. Application Catalysis A : General. 369: 1 -10.
- Ho, W.W.S., Ng, H.K., S. Gan dan S.H. Tan. 2014. *Evaluation of Palm Oil Mill Fly Ash Supported Calcium Oxide as A Heterogenous Base Catalyst in Biodiesel Synthesis from Crude Palm Oil*. *Energy Conversion and Management*. 88:1167-1178.
- Khatiri, C., dan Rani, A. 2008. *Synthesis of Nano-Crystalline Solid Acid Catalyst from Fly Ash and its Catalytic Performance*. *Fuel*. 87 : 2886-2892.
- Khayoon, M.S., dan Hameed B.H. 2011. *Acetylation of Glycerol to Biofuel additives Over Sulfated Activated*

- Carbon Catalys.* Bioresource Technology. 102: 9229-9235.
- Kupaei, R.M., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., dan Nikraz, H. 2013. *Mix Design for Fly Ash Based Oil Palm Shell Geopolymer Lightweight Concrete*. Construction and Building Materials. 43: 490-496.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3th edition*; Wiley and Sons: New York.
- Liao X., Zhu Y., Wang S. G., dan Li Y. 2009. *Producing Triacetyl glycerol with Glycerol by Two Steps: Esterification and Acetylation*. J. Fuel Process Tech. 90 : 988-993.
- Montgomery, D.C. 1991. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons. Singapore.
- Mufrodi, Z., Rochmadi, Sutijan., dan Budiman, A. 2010. *Effects of Temperature and Catalyst upon Triacetin Production from Glycerol (by-Product Biodiesel Production) as Octane Booster*. Proceedings of International Conference on Advances in Renewable Energy Technologies, Putrajaya, Malaysia.
- Nuryoto, Sulisty, H., Rahayu S.S., dan Sutijan. 2010. *Uji Performa Katalisator Resin Penukar Ion Untuk Pengolahan Hasil Samping Pembuatan Biodiesel Menjadi Triacetin*. Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010.
- Pandiangan. 2008. *Karakteristik keasaman katalis berbasis silika sekam padi yang diperoleh dengan teknik sol-gel*. Prosiding Seminar Nasional Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung. Lampung.
- Prakoso, T. H., dan Sirait, B. 2007. *Pemurnian Hasil Samping Produksi Biodiesel*. Prosiding Konferensi Nasional Pemanfaatan Hasil Samping Industri Biodiesel dan Industri Etanol serta Peluang Pengembangan Industri Integratedny, Jakarta, 267 - 275.
- Prasetyo, A.E., Widhi, A., dan Widayat. 2012. *Potensi Gliserol Dalam Pembuatan Turunan Gliserol Melalui Proses Esterifikasi*. Jurnal Ilmu Lingkungan. Vol 10 (1): 26-31.
- Sari, N., Helwani, Z., dan Ronaldo, H. 2014. *Pemanfaatan Gliserol Produk Samping Biodiesel Menjadi Triacetin Melalui Proses Esterifikasi Menggunakan Katalis Zeolit Alam*. JOM FTEKNIK Volume 2 No. 1.
- Sibarani, K.L. 2012. *Preparasi Karakterisasi dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeorit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- Skoog, F., Holler, T., dan Nieman. 1998. *Principles of Instrumental Analysis, Fifth Edition*. Thomson Learning. United States.
- Widayat, Satriadi, H., Abdullah., dan Handono, I.W.K. 2013. *Proses Produksi Triasetat dari Gliserol dengan Katalis Asam Sulfat*. Jurnal Teknik Kimia Indonesia 10(4).